

Računalniški vid v prometu

Matej Artac, Aleš Leonardis

Univerza v Ljubljani

Fakulteta za računalništvo in informatiko

E- pošta: {matej.artac, ales.leonardis}@fri.uni-lj.si

Povzetek. Spremljanje prometa z računalniškim vidom omogoča nepretrgano beleženje dogajanja ter javljanje nenavadnih dogodkov. S tem povečuje ažurnost informacij, omogoča opozarjanje na potencialne nevarnosti ali celo popravlja odločitve voznika. Kamere, vgrajene nad voziščem ali ob njem, spremljajo dogajanje v prometu, lahko pa jih vgradimo na ali v vozilo, kjer zaznavajo ovire na cesti, nevarne odmike v vožnji ali obnašanje voznika. V članku bomo predstavili nekaj prototipov in rešitev, ki so predmet preteklih ali trenutnih raziskav.

Ključne besede. Računalniški vid, sledenje, promet, zaznavanje gibanja, varnost, računalniški pomočniki

Uvod

Promet je razmeroma strukturiran proces, določen s pravili in predpisi. Udeleženci glede na svoje želje in razmere na cesti sprejemajo odločitve, ki vplivajo na njihovo ravnanje.

Zaradi svojih pravil in okvirov je promet precej hvaležno področje za računalniško spremljanje in obravnavanje. Na trgu lahko najdemo vedno zmogljivejšo strojno opremo, ki omogoča hitro obdelavo vedno večje množice podatkov. Z razvojem računalniškega vida in umetne inteligence se izboljšujejo postopki, ki znajo iz množice podatkov narediti zaključke ali svetovati pri nadaljnjem odločanju, s čimer izkoristijo strojno opremo.

Za zaznavanje vozil v prometu so že uveljavljeni klasični senzorji [6]:

- indukcijske zanke, vgrajene v cestišče, ki zaznavajo vozila s pomočjo napetosti, ki jo inducira vozilo,
- cevasti senzorji, položeni počez na cestišče, ki zaznavajo povečanje tlaka, ko vozilo zapelje čez cev,
- mikrovalovni senzorji, nameščeni nad cestišče, ki zaznavajo vozilo, ko to povzroči interference,
- radarji, ki merijo hitrost vozil.

Video kamere, nameščene ob cestišču ali nad njim, so privlačna dopolnitev ali alternativa, saj nudijo pasivno zaznavanje, ob namestitvi ne zahtevajo posebnih posegov v cestišče, slike pa nudijo bogat nabor podatkov. Na posamezni sliki lahko ugotovimo položaj vozila, njegov tip, barvo ali razberemo registrsko številko. Na časovnem zaporedju slik pa odkrijemo še

gibanje vozil, njihovo hitrost in različne vzorce vožnje. Kamere so komercialno na razpolago v različnih velikostih, na tržišču so celo brezžične kamere, (napajanje lahko poteka preko sončnih celic).

Klasični video nadzor zahteva operaterje, ki v nadzornem središču spremljajo dogajanje na zaslonih. Ob razmahu cenenih digitalizatorjev slike in digitalnih kamer pa je možno sprotni tok slik (25 ali 30 slik na sekundo) strojno obdelovati in iz njega izvleči podatke. Do operaterja potem pridejo podatki v kompaktni obliki, saj izve le pomembnejše dogodke, po možnosti združene iz več lokacij hkrati.

Največji dejavnik varnosti ali nevarnosti udeležencev v prometu pa so udeleženci sami s svojimi vozili. Zato je smiselno kamere namestiti na ali v vozilo. Z računalniškim vidom potem spremljamo promet pred, ob ali za vozilom. Kamere pa lahko opazujejo tudi notranjost kabine in dogajanje v njej.

V nadaljevanju sledi pregled vseh treh vrst aplikacij, njihovih implementacij ter težav, s katerimi se ob njih srečujemo.

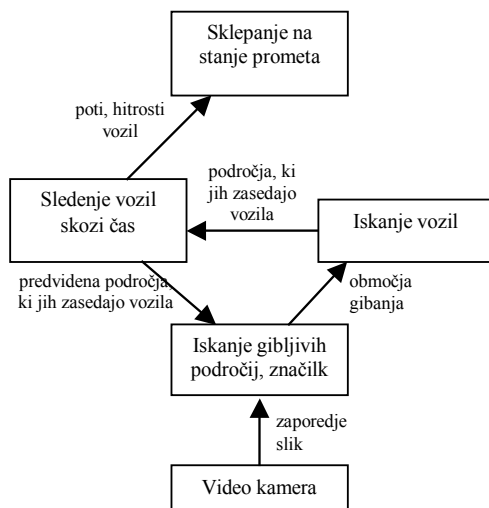
Statično spremljanje prometa

Promet lahko spremljamo s kamero na stalni lokaciji ob ali nad cestiščem. Računalniški sistem, ki je povezan s takšno kamero ali mrežo kamer, deluje kot nadzornik, ki zaznava in sledi vozilom na cesti, analizira njihovo gibanje, šteje vozila ter obvešča o trenutnem stanju, nenavadnih dogodkih, zastojih ali drugih nepravilnostih. Obvestila se lahko zbirajo v nadzornem središču ali neposredno aktivirajo občestno signalizacijo. Takšni sistemi bodo v prihodnje omogočili večjo racionalizacijo prometa, saj bodo sproti ugotavljali, katere ceste so bolj pretočne, ter svetovali vozniku preko ob cesti nameščenih signalov ali naprednejših vozil z navigacijsko opremo. Sistemi, opremljeni s samodejnim razpoznavanje registrskih tablic, pa bodo pomagali pri iskanju ukradenih vozil, avtomatizirali zbiranje parkirnine ali cestnine.

Slika 1 prikazuje celotni postopek, ki v grobem poteka tako, da kamera najprej zajame sliko in jo v obliki dvodimenzionalnega polja intenzitetnih vrednosti posreduje računalniškemu sistemu. Na posamezni sliki oz. na zaporedju slik nato sistem loči gibajoče in mirujoče slikovne elemente – manj spremenljivo ozadje ter gibajoči predmeti v ospredju. Poišče tudi mesta

ostrih prehodov (robov ali vogalov) in drugih enostavno določljivih značilnosti (značilnic).

Pri določanju podobe ozadja je pomembno, da se sistem prilagaja spremembam osvetlitve zaradi vremenskih razmer, kot je prehod sonca za oblak. Po drugi strani pa ne sme v ozadje integrirati vozila, ki se je ustavilo za dlje časa. Ko imamo sliko ozadja, je razmeroma enostavno določiti, kateri slikovni elementi so v gibanju in kateri mirujejo.



Slika 1: Diagram sistema za spremljanje prometa.

Ko dobimo te tako imenovane nizko nivojske podatke, jih uporabimo pri identifikaciji predmetov (vozil) na sliki. Nato sledimo posameznemu vozilu skozi časovno zaporedje slik. Ker med zajemanjem dveh zaporednih slik poteče malo časa, se vozila na sliki ne premaknejo za večjo razdaljo. Zato lahko na vsaki sliki poiščemo množico značilnic, ki jih nato primerjamo med zaporednimi slikami v njihovi bližnji okolici. Če ugotovimo, da se določene značilnice skozi čas v večji meri ohranjajo, sklepamo, da pripadajo istemu vozilu [2]. Poleg tega lahko primerjamo kar izgled posameznega zaključenega gibljivega območja (slika 3) in tako sledimo posameznim vozilom [9]. Podatki, ki jih tako pridobimo, nam povedo, po kakšni poti so se peljala vozila na območju, ki ga opazujemo, ter s kakšno hitrostjo so se gibal. Slika 5 prikazuje rezultat krajšega sledenja vozil.



Slika 2: Naš sistem označi vozila s pravokotniki.



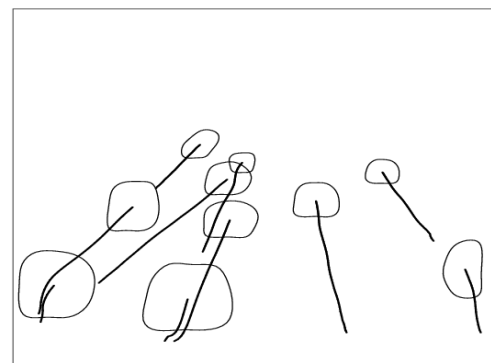
Slika 3: Področja gibanja na sliki 2, ki sovpadajo z vozili.

V Laboratoriju za računalniški vid smo razvili sistem, ki spremlja promet, šteje vozila in ugotavlja njihove hitrosti [1]. Sliko ozadja uspešno vzdržuje kljub vremenskim spremembam in nihanju signala. Kvaliteta posnetkov iz traku VHS, ki smo jih uporabljali, je namreč precej oslajljena. Slika 3 prikazuje rezultat zgodnejše faze, ko algoritem odkriva, kateri slikovni elementi so v gibanju. Te elemente nato združi v skupine, za vsako od njih pa poišče najmanjši pravokotnik, ki skupino obdaja. Slika 2 prikazuje takšne pravokotnike na izvorni sliki.

Ko imamo znan položaj vozila na sliki, lahko sklepamo na to, kje na cestišču (oz. v svetu) se vozilo nahaja. Perspektivna projekcija popači podobe predmetov, vendar, če poznamo parametre nastanka slike, lahko v veliki meri umestimo predmete nazaj v svet. Parametri, ki jih potrebujemo, so tako goriščna razdalja kamere ter velikost slike, kot podatki o tem, kako daleč od kamere je cesta (izraženo s tremi prostorskimi dimenzijami) ter pod kakšnimi koti je usmerjena na cesto. V splošnem to ni dovolj za prostorsko umestitev predmetov na sliki. Vendar so ceste običajno ravne, zato predpostavimo, da se vozila po njej vozijo po skupni ravnini. S preprosto geometrijsko preslikavo potem lahko dobimo korespondenco med dvodimenzionalno lokacijo na sliki in tridimenzionalno lokacijo v svetu [6] (sliki 6 in 7).



Slika 4: Posnetek prometne ceste, na katerem so označeni obrisi odkritih vozil



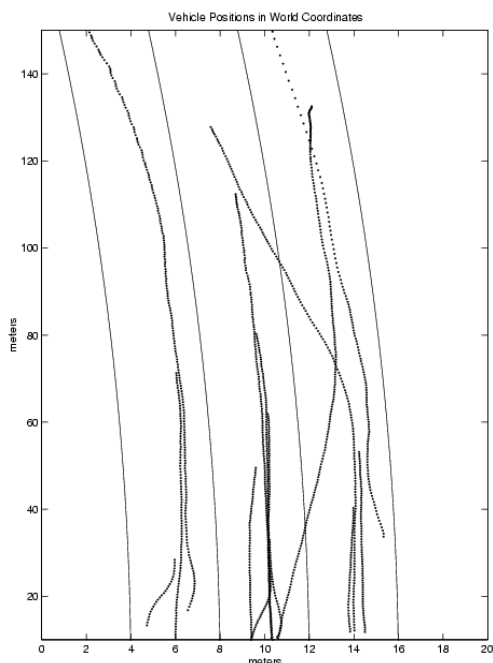
Slika 5: Obrisi vozil s slike 4 in sledi, ki so jih naredili od začetka opazovanja

Te ugotovitve lahko sistem sproti statistično obdeluje in podaja visokonivojske opise trenutnega stanja ali si z

njimi pomaga pri nadaljnjem ugotavljanju nizkonivojskih podatkov. Vsakemu vozilu lahko dodelimo statistične spremenljivke, ki s svojimi stanji opisujejo trenutni vzorec obnašanja vozila (npr. vozilo vozi naravnost, prehaja na drug pas, stoji). Te spremenljivke so med seboj vzorčno povezane (npr. vozilo, ki vozi počasi, omeji hitrost vozila za njim). Z njimi lahko veliko učinkoviteje vodimo nadaljnje sledenje vozil. Glede na stanja spremenljivk pa lahko sistem podaja situacijo na cesti na človeku razumljiv način, sproža opozorila in javlja nepravilnosti [9].



Slika 6: Rezultat sledenja vozil



Slika 7: Projekcija sledi iz slike 6 na tloris ceste

Težave pri ugotavljanju lokacije vozil na cesti lahko nastopijo, ko vozilo delno prekrijejo druga vozila. To se običajno zgodi, ko vozilo, ki je bližje kameri, zavzame položaj med kamero in opazovanim vozilom. Vozila, ki so bližja kameri, pa se na sliki pojavljajo nižje od tistih, ki so bolj oddaljena. Zato vozila obravnavamo v vrstnem redu od spodaj navzgor, kot se pojavijo na sliki. Ker je v spodnjem delu slike veliko manj verjetno, da so vozila prekrita, lahko vsako vozilo začnemo

opazovati neprekruto. Sistem skuša v vsakem trenutku predvideti, kje se bo vozilo nahajalo na naslednji sliki, zato je mogoče ohraniti celotno obliko vozila skozi celoten cikel opazovanja. Ko eno vozilo prekrije drugo, najprej poiščemo obliko vozila, ki je v ospredju, nato pa dopolnimo zakrite dele drugega vozila s prilagojeno obliko iz predhodnih slik [8]. Slika 4 prikazuje situacijo, kjer eno od vozil prekriva drugo vozilo. Slika 5 kljub temu ne vsebuje večjih odstopanj pri poti zakritega vozila.

Sistem za spremljanje prometa lahko dopolnimo tako, da lahko iz vozil prebere vsebino registrskih tablic. Tak sistem mora najprej znati locirati mesto tablice na vozilu. Ker so mesta namestitve registrske tablice precej standardizirana, lahko območje iskanja precej omejimo. To območje je običajno na takem predelu slike, kjer je ločljivost dovolj velika za optimalno razpoznavo znakov. Iskanje položaja tablice olajša tudi dejstvo, da ima tablica predpisano barvno kombinacijo. Zato se sistemi osredotočijo na barvo tablice, nato pa poiščejo najboljše prileganje šablone pravokotnika v razmerju, kot ga ima tablica [6]. Druga strategija izkorišča visoko stopnjo kontrasta med znaki in ozadjem tablice. Alfanumerične znake nato izloči sistem OCR (optična prepoznavna znakov).

Težave, s katerimi se takšni sistemi srečujejo, so večinoma posledica spremenljivih vremenskih razmer. Ob zmanjšani vidljivosti je doseg kamer krajši. Ob jasnih dneh lahko sence, ki jih mečejo vozila, zmedejo postopek sledenja vozil. Podobno se lahko na mokrem cestišču pojavijo moteči odbleski, ponoči pa se mora sledenje spet prilagoditi drugačnem izgledu, ker namesto gibajočih vozil izstopa svetloba prednjih luči vozil, ki osvetljuje cestišče.

Računalniški vid za spremljanje prometa iz vozila

Med vožnjo lahko voznikovo zaznavo dopolnjujejo naprave, vgrajene v vozilo, ki zaznavajo parametre vožnje in vozila ter pasivno ali aktivno pomagajo vozniku. Takim sistemom rečemo tudi pomočniki [5]. Primer takšnega pomočnika je sistem, ki ob slabi vidljivosti na vetrobransko steklo projicira sliko infra rdeče kamere. Bolj razširjeni pomočnik zna vzdrževati izbrano hitrost vozila. Naprednejše različice so opremljene še z globinskim radarjem, ki v pogojih prostega prometa na avtocestah poskrbi, da vozilo ne pelje hitreje od vozila, ki vozi spredaj.

Z video senzorjem bi bilo moč poleg te naloge še dodatno poskrbeti za varnost in za izboljšanje pomočnika. Računalnik, priključen na eno ali dve kameri, usmerjeni na cestišče, zaznava ovire na cesti ter druge udeležence v prometu, opozarja na nenadzorovan pomik z voznega pasu ali na nevarno menjavo pasu, ko ciljni pas ni prost. Pri večjih in daljših vozilih lahko spremlja območje bokov vozila ter pomaga pri zavojih okrog ovir ter olajša parkiranje. Zanimiva je tudi ideja [5] konvoja tovornih vozil, pri katerem je človeški

Sistem imenovan GOLD (generično zaznavanje ovir in voznih pasov, angl. Generic Obstacle and Lane Detection) [2] za iskanje razmejitvenih črt na cesti uporablja postopek, pri katerem predpostavlja, da ima oznaka na cesti najvišjo intenzitetno vrednost v neki

Poleg običajnih kamer so v zadnjem času za raziskovalce zanimive tudi posebne kamere, ki zajamejo celotno panoramo v obsegu 360° okrog kamere [7]. To

dosežejo s posebnimi lečami ali zrcali sferične, hiperbolične ali parabolične oblike. [12] uporabljajo takšno panoramsko kamero za iskanje statičnih elementov iz optičnega toka. Zaradi širokega zornega kota lahko spremljajo elemente na slikah skozi daljše časovno obdobje kot pri običajni kameri.

Ko določeni sistemi odpovejo zaradi slabe vidljivosti, npr. ponoči, ali zaradi gostega prometa, se zatečejo k sledenju vozila pred seboj. Zlasti ponoči je to možno zaradi oblike in barve zadnjih luči na vozilih. Pri tem mora sistem upoštevati relativne lokacije opazovanih luči, si sproti graditi zemljevid poti, po kateri se premikajo, ter slediti tako, da se izogiba oviram. Sproti mora ugotavljati, če so rezultati meritev smiselni. Uporaba takega sistema je sicer bolj omejena, ker predvideva, da vozilo pred nami vozi tja, kamor želimo priti tudi sami.

Med bodočimi generacijami pomočnikov lahko pričakujemo prehod na urbano okolje, prepoznavanje prometnih znakov in druge obcestne signalizacije.

Računalniški vid in nadzor voznika

Varnost vožnje lahko dodatno povečamo s sistemom, ki spremlja dogajanje v kabini ter obnašanje voznika. Avtorja v [4] sta pri tem izpostavila nevarnost zaspanosti za volanom ter nesreče, ki se zgodijo, ko utrujen voznik za kratek čas zaspi ter s tem izgubi nadzor nad vozilom.

Znak zaspanosti naj bi bila, poleg mlahavega vratu, serija »mikro spanj«, ki se odražajo kot zaprte oči za kratek čas (2 do 3 sekunde).



Slika 11: Nekaj primerov iskanja in sledenja oči

Za opozarjanje pred zaspanostjo naj bi bil zadolžen sistem, povezan s kamero na armaturi, ki je usmerjena v obraz voznika. Ko voznik zavzame položaj za krmilom ter zažene motor vozila, sistem poišče položaj obraza na sliki. To lahko naredi tako, da izkoristi simetričnost obraza in odkrije tisti stolpec slike, ki sliko najbolj simetrično razdeli.

Sistem nato vzdolž izbranega stolpca poišče višino, kjer se nahajajo voznikove oči. Pri tem predpostavlja, da so oči najtemnejši predel obraza. Na odkriti višini s prilaganjem šablone temnega kroga, obdanega s svetlim kolobarjem, določi lokacijo očesnih zrkel. Tem nato sledi v nadaljnjih posnetkih.

Odpрте oči od zaprtih sistem loči po tem, da je na območju, kjer najde očesna zrkla, kontrastnost bistveno večja zaradi prisotnosti beločnice okrog temnejše šarenice in zenice. Če so oči zaprte, pa te kontrastnosti ni. Če skozi čas beležimo intervale, ko so oči zaprte, lahko na preveliko utrujenost voznika sklepamo, ko so oči pogosto zaprte in je interval zaprtih oči pretirano dolg [4].

Sistem torej deluje, če so voznikove oči vidne. Če pa voznik nosi sončna očala, algoritem odpove. V nekaterih primerih prihaja do napak tudi, če voznik nosi očala z večjo dioptrijo.

Sodobna vozila so opremljena z zračnimi blazinami tako na voznikovi strani kot pri sopotnikih. Pri proženju zračnih blazin je pomembno, da se varnostni sistem prilagodi osebi, ki sedi na pripadajočem sedežu. Za osebe nižje rasti in otroke predstavlja zračna blazina celo smrtno nevarnost. Tudi osebo, ki je v trenutku proženja zračne blazine nagnjena naprej, lahko blazina poškoduje do smrti. Zato raziskovalci vlagajo svoja prizadevanja tudi v sisteme varnega proženja zračnih, ki upoštevajo velikost potnikov in njihovo pozo.

Za opazovanje potnikov skrbita dve kameri. Sistem iz dveh slik dobi oblak točk v 3D prostoru. Iz tega oblaka najprej odstrani točke, ki pripadajo sedežu in drugim delom kabine. Iz preostanka točk nato sklepa, ali gre za odraslo osebo ali otroka, osebo z otrokom v naročju ali za otroški sedež, v katerem sedi otrok [10].

Zaključek

Predstavili smo nekatere rešitve iz pestre palete aplikacij, ki lahko povečajo varnost v prometu. Velika večina jih je šele v obliki testnih prototipov v razvojnih institucijah, komercialno pa še niso razširjene. Razvoj rešitev je sicer v interesu avtomobilske industrije, ki vanje vлага precej sredstev.

Branje registrskih tablic je ena izmed že uveljavljenih aplikacij. Predvsem jo uporabljajo ob vstopih na parkirišča, kjer so razmere za zajem slik bolj nadzorovane. Ob cesti pa se razmere lahko precej spreminjajo, zato mora biti sistem za spremljanje prometa odporen na te spremembe. Testi drugih sistemov za spremljanje prometa so pokazali, da pravilno prepoznajo od 75% do 95% vozil in njihovih parametrov, odvisno od razmer.

Sistemi, ki so del voznikovih pomočnikov, morajo dosegati precej visoko stopnjo zanesljivosti. Za zdaj so teste uspešno opravile rešitve, ki delujejo v prosto pretočnem prometu, ob vožnji po avtocestah ter ravnih

cestah. Vendar je potrebno tudi za te sisteme povečati stopnjo zanesljivosti. Poleg novih programskih rešitev sem spada tudi prihod bolj občutljivih senzorjev za zajem slike. Težava trenutno najbolj razširjenih svetlobnih senzorjev je v pomanjkanju dinamike. Ta se pokaže, če prizor vsebuje hkrati zelo svetle in zelo temne elemente, kar se dogaja na primer v predorih. Preveč svetli predeli takšnih prizorov postanejo prenasičeni, preveč temni predeli pa zavzamejo najnižje intenzitetne vrednosti. Novejši senzori imajo dinamiko zaznavanja precej širšo. Možno je tudi integrirati različne senzore, poleg vizualnih še takšne, ki aktivno merijo razdalje do ovir (radarji), oziroma naprave za merjenje prevožene poti v kombinaciji s sistemom za globalno pozicioniranje (GPS). Prehod na manjše ceste ter urbano okolje z večjo stopnjo prometa zahteva še boljše prepoznavanje mirujočih ter gibajočih ovir, pešcev, prepoznavanje obcestne signalizacije ipd.

Poleg tehničnih vprašanj se pojavlja še vprašanje psihološkega učinka dejavnega pomočnika na voznike. Ali se bodo vozniki s tem manj zavedali neposredne nevarnosti? Bodo vozili drznejše pod vplivom navideznega občutka varnosti? Poraja se tudi dilema, na kakšen način pasivni pomočnik lahko opozori voznika na nevarnost, saj nepričakovani dražljaji (zvočni signali) lahko voznika zmedejo ali ga prestrašijo, kar lahko doseže ravno obratni učinek od zelenega. Za sisteme, ki tvorno posegajo v vožnjo, so lahko težave na področju zakonodaje, ki takšna vozila prepoveduje.

Kljub težavam pa lahko pričakujemo postopen vstop rešitev, ki vključujejo računalniški vid, na področje prometa in prometne varnosti. K temu bo prispeval razvoj zmogljivejše strojne opreme vizualnih senzorjev, predvsem pa razvoj zanesljivejših algoritmov, integriranih v programske rešitve.

Literatura

- [1] M. Artač, *Zaznavanje gibanja v gibljivih slikah*, tehnično poročilo, LRV-0109, maj 2001
- [2] D. Beymer, P. McLauchlan, B. Coifman, J. Malik, A real-time computer vision system for measuring traffic parameters, *CVPR*, 1997.
- [3] M. Bertozzi in A. Broggi, GOLD: A Parallel Real-Time Stereo Vision System for Generic Obstacle and Lane Detection, *IEEE Transactions on Image Processing*, zv. 7, št. 1, januar 1998, str. 62-81.
- [4] M. Eriksson, N. P. Papanikolopoulos, *Driver fatigue: a vision-based approach to automatic diagnosis*, Transportation Research Part C Emerging Technologies, 2001, zv. 9, št. ER6, str. 399-413.
- [5] D. M. Gavrila, Driver Assistance Systems: Capture the Vision, *Advanced Imaging Europe*,

januar 2002, str. 12-17.

- [6] C. Setchell, *Applications of Computer Vision to Road-traffic Monitoring*, doktorska disertacija, Department of Computer Science, University of Bristol, september 1997.
- [7] M. Jogan, A. Leonardis, Panoramic eigenimages for spatial localisation, *CAIP 99*, str.558-567, Springer Verlag, 1999.
- [8] D. Koller, J. Weber and J. Malik, Robust Multiple Car Tracking with Occlusion Reasoning, *ECCV*, 1994, str. 189-196.
- [9] J. Malik, S. Russell *et al.*, *A Machine Vision Based Surveillance System for California Roads*, <http://citeseer.nj.nec.com/9139.html>.
- [10] A. Marin-Hernandez, M. Devy, Application of a stereovision sensor for the occupant detection and classification in a car cockpit, *2nd International Symposium on Robotics and Automation*, Monterrey (USA), 10.-12. november 2000, str. 491-496.
- [11] D. Pomerleau, T. Jochem, Rapidly Adapting Machine Vision for Automated Vehicle Steering, *IEEE Expert: Special Issue on Intelligent System and their Applications*, zv. 11, št. 2, april, 1996, str. 19-27.
- [12] T. Yata, C. Thorpe, F. Dellaert, *Static Environment Recognition Using Omni-camera from a Moving Vehicle*, CMU-RI-TR-02-12, Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, 2002.

Življenjepis avtorjev

Matej Artač je leta 2000 diplomiral na Fakulteti za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani. Na tej fakulteti je vpisan v magistrski program Računalništvo in informatika in je zaposlen kot mladi raziskovalec v Laboratoriju za računalniški vid. Njegova raziskovalna področja vključujejo vizualno učenje in prepoznavanje predmetov, vizualna navigacija mobilnih robotov ter rekonstrukcija 3D modelov iz množice slik.

Aleš Leonardis je doktoriral s področja računalništva in informatike na Univerzi v Ljubljani leta 1993. Trenutno je izredni profesor na Fakulteti za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani. Njegova raziskovalna področja vključujejo robustne in adaptivne metode za računalniški vid, razpoznavanje predmetov in prizorov, učenje in modeliranje 3D predmetov. Je avtor ali soavtor več kot 120 člankov, ki so bili objavljeni v revijah na konferencah, in je soavtor knjige *Segmentation and Recovery of Superquadrics* (Kluwer, 2000).